

## УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССОМ ПРОИЗВОДСТВА ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ИЗДЕЛИЙ ПО ПОКАЗАТЕЛЯМ КАЧЕСТВА И ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ

А.П. Веревкин, Х.Г. Нагуманов (УГНТУ),

А.Х. Нагуманов (ООО «Инженерный центр «Энергосберегающие технологии»)

Рассматриваются вопросы оптимизации процессов тепловой обработки бетонных изделий на основе использования автономных нагревательных аппаратов, работающих на природном газе. Повышение эффективности управления процессом термообработки осуществляется за счет генерирования колебаний температуры на стадии изотермического прогрева. Показано, что в оптимальных режимах удается существенно снизить температуру на изотермической стадии прогрева без потери прочности изделия. Предложена структура АСУТП и рассмотрены результаты ее применения на промышленных объектах.

Ключевые слова: тепловая обработка газа, нагреватель, качество, бетонные изделия, экономическая эффективность, автоматизированная система управления.

В производстве железобетонных изделий (ЖБИ) широко используется процесс термовлажностной обработки, в том числе продуктами сгорания природного газа [1].

Спецификой управления печами для обработки ЖБИ является необходимость изменения температуры изделия в соответствии с технологическим регламентом, а также выполнения технико-экономических требований:

1) учет технологических ограничений на качество изделия (для ЖБИ — прочность  $R$ , измеряемая в кг/см<sup>2</sup>); требование вытекает из необходимости выполнения нормативов для соответствующих изделий;

2) минимизация потребления энергоресурсов с учетом ограничений на качество. Выполнение данного требования сопряжено с тем, что в структуре себестоимости ЖБИ энергозатраты (расходы на топливный газ) при термовлажностной обработке составляют до 7...8%.

Продолжительность, характер протекания и температура прогрева ЖБИ зависят от типа, формы и назначения изделий. При существующей технологии и выполнении технологических ограничений качество ЖБИ оперативно может оцениваться на основе известного соотношения [2]:

$$R = \alpha \cdot (\lg t - \lg t_0),$$

где  $\alpha$  — параметр, характеризующий поведение цемента при пропаривании в принятых условиях, МПа;

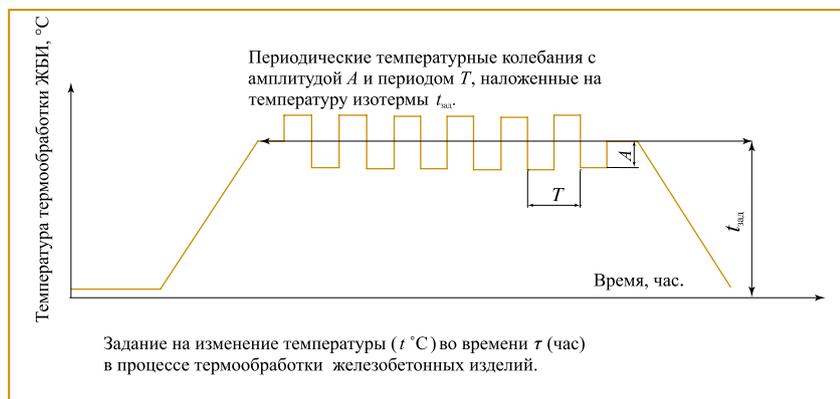


Рис. 1. График задания периодических колебаний уставки на стадии изотермической выдержки

$t$  — время тепловой обработки при температурах выше 60 °C (в том числе на стадиях нагрева, охлаждения и изотермической обработки),  $t_0$  — индукционный период твердения (до образования прочной структуры). Подбор параметров  $\alpha$  и  $t_0$  модели вычисления показателя качества, которые зависят от режима, вида изделия, марки цемента и т.д. осуществляется по статистическим данным и в общем случае требует разработки адаптивных алгоритмов идентификации. При устоявшейся номенклатуре изделий и состава сырья параметры могут назначаться вручную.

Обеспечение прочности не ниже заданной  $R^{\text{зад}}$  осуществляется путем вычисления времени прогрева  $t$  по заданному значению показателя качества.

Для обеспечения сложного температурного режима используются воздушонагреватели прямого сжигания газа двух типов:

1) с программным управлением процессом термообработки ЖБИ путем регулирования соотношения «газ/воздух» на инжекционных горелках [1, 3] ПИ (или ПИД) регуляторами. Отметим, что нелинейность характеристик горелок и процесса сжигания газа на полных диапазонах изменения расходов газа и соответствующих температур не позволяет обеспечить оптимальность процессов горения;

2) аппараты с несколькими горелками, когда на одной из горелок, которая выступает в качестве контрольной, непрерывно поддерживается горение, а другие подключаются (или отключаются) по мере необходимости изменения температуры в пропарочной камере. Регулирование температуры в этом случае проводится конечно-автоматным регулятором [4, 5, 6]. В последнем случае отклонения температуры от программных значений могут достигать 5...7 °C. Было замечено, что такие колебания температуры не только не ухудшают качество ЖБИ, а напротив, позволяют существенно снизить энергозатраты на термообработку при обеспечении заданных значений качества [1].

В связи с этим были проведены эксперименты по исследованию влияния искусственно создаваемых колебательных режимов на прочность ЖБИ (сваи).

Генератор периодических колебаний изменял уставку (задание) регулятора температуры прогрева на изотермической стадии термообработки (рис. 1). На рис. 2 приведен график изменения фактической температуры в пропарочной камере. При периоде колебаний больше нескольких минут фактическая и заданная амплитуды колебаний были практически одинаковыми.

Отдельные результаты экспериментов приведены в таблице.

Аналогичные эксперименты были проведены для исследования влияния амплитуды  $A$  на прочность  $R$ .

Было установлено следующее.

1. Характер изменения прочности готовых ЖБИ от изменения периода колебаний и амплитуды носит экстремальный характер.

2. Тепловая обработка при средних температурах изотермы 60...80 °C и колебаниях температуры возле среднего значения изотермы дает те же значения прочности, что и обработка при температурах изотермы 80...110 °C без колебаний температуры.

Прослеживается очевидный результат упрочнения изделий от наложения периодических колебаний температуры на среднюю изотерму процесса прогрева железобетонных изделий.

По экспериментальным данным для трех вариантов изменения амплитуды  $A$  при постоянном периоде колебаний  $T$  (таблица не приведена в силу ее большого размера) и трех вариантов изменения периода колебаний  $T$  при постоянной амплитуде  $A$  (табл.)

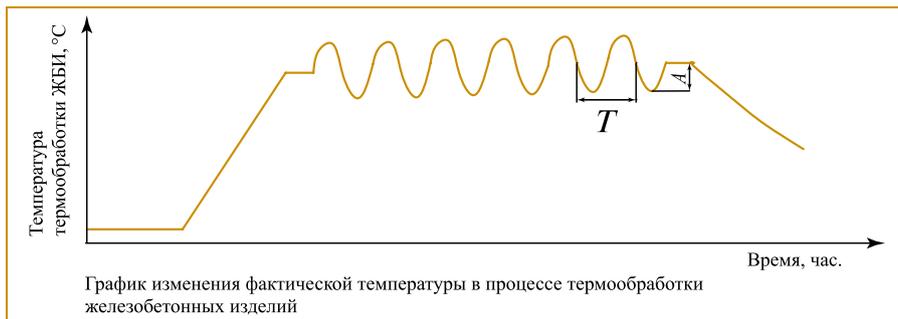


Рис. 2. График изменения фактической температуры в пропарочной камере

Таблица. Результаты эксперимента

-1						
	80 ° - 3 , - 9 , =12,5 °					
, T,	5	10	15	20	25	30
R, / ²	335	342	340	338	336	336
-2						
	70 ° - 3 , - 9 , =12,5 °					
, T,	5	10	15	20	25	30
R, / ²	317	318	315	315	313	311
-3						
	60 ° - 3 , - 9 , =12,5 °					
, T	5	10	15	20	25	30
R, / ²	315	315	314	312	312	310

были построены графики влияния параметров колебаний на прочность  $R$  (сваи) для режимов, соответствующих максимальному упрочнению изделий (рис. 3 и 4).

Зависимости на рис. 3 и 4 аппроксимируются линейными выражениями:

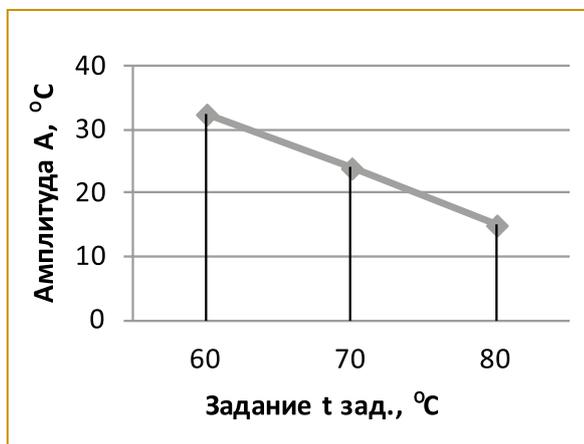


Рис. 3. Зависимость амплитуды колебаний  $A$  от изотермической температуры  $t_{зад.}$  для максимальной прочности изделий. Период колебаний 10 мин

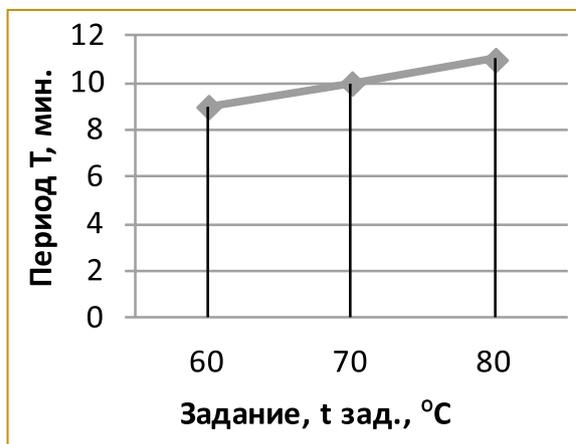


Рис. 4. Зависимость периода колебаний от  $t_{зад.}$  при которых обеспечивается максимальная прочность изделий. Амплитуда колебаний 12,5 °C

$$A = a - b * t_{\text{зад}} = 97,5 - 1,06 * t_{\text{зад}}, \quad (1)$$

$$T = c - d * t_{\text{зад}} = 3 + 0,1 * t_{\text{зад}} \quad (2)$$

с относительной погрешностью  $\leq 2\%$ .

Значение  $t_{\text{зад}}$  определяется на основе аппроксимации ее связи с максимальной прочностью  $R_{\text{зад}}$  при соответствующих оптимальных значениях  $T$  и  $A$ .

Для рассматриваемого примера (сваи) эта зависимость с относительной погрешностью  $\leq 3\%$  имеет вид:

$$t_{\text{зад}} = -e + g * R_{\text{зад}} = -171 + 0,74 * R_{\text{зад}}. \quad (3)$$

Полученные зависимости позволяют повысить эффективность термовлажностной обработки при управлении в двух вариантах:

1) когда наложение колебаний позволяет снизить среднее значение температуры изотермической стадии, необходимое для достижения заданной прочности, примерно на 5...10 °С. За счет этого энергозатраты снижаются в среднем на 10...14%;

2) когда при сохранении существующего уровня затрат прочность ЖБИ возрастает на 4...14%. Как видно из таблицы, прочность на режиме ТО-1 при отсутствии колебаний составляет 300 ед., а при повышении амплитуды до 12,5 °С возрастает до 342 ед. и далее плавно падает. Те же закономерности проявляются и в других режимах.

Экономический эффект от внедрения данного метода определяется снижением расхода теплоносителя. Так, при использовании природного газа в технологии термообработки ЖБИ продуктами сгорания природного газа снижение расхода составило примерно 1 м<sup>3</sup> газа на 1 м<sup>3</sup> ЖБИ.

С целью реализации метода управления, который минимизирует энергозатраты при условии обеспечения заданной прочности ЖБИ, была разработана АСУТП, включающая:

— на нижнем уровне: датчики температуры, давления, исполнительные устройства дискретного типа, контроллеры управления теплогенераторами ВСУ типа SMH C2010C фирмы Segnetics, которые по сети Modbus RTU связаны с АРМ;

— на втором уровне установлено АРМ оператора (промышленный компьютер с двумя n-портовыми платами интерфейса RS-485 и 20-дюймовым LCD монитором); имеется возможность связи с более высокими уровнями АСУТП через Ethernet сети предприятия.

Для конкретного ЖБИ по результатам экспериментов должны быть получены коэффициенты в зависимостях (1–3).

В АСУТП реализуется два этапа работы: подготовка к началу цикла термовлажностной обработки и реализация цикла обработки. На этапе подготовки оператор с АРМ вводит параметры процесса — продолжительность

и температуру термообработки, скорость подъема температуры, исходя из требований технологического регламента. Далее по заданной прочности изделия  $R_{\text{зад}}$  определяются значение средней температуры изотермы, амплитуда  $A$  и период  $T$  наложенных на изотерму колебаний. В примере используются соотношения (3), (1) и (2) соответственно. Эти данные вводятся в контроллер.

На этапе реализации управлений в автоматическом режиме цикла обработки ЖБИ работы контроллер выполняет следующие функции:

- реализует программу выведения температуры на значение изотермы ЖБИ;
- осуществляет поддержание средней температуры изотермы;
- осуществляет генерирование колебаний температуры с заданными параметрами периода и амплитуды.

### Выводы

Управление процессом термовлажностной обработки ЖБИ конечно-автоматным управляющим устройством в режиме вынужденных колебаний температуры изделия на изотермической стадии прогрева позволяет обеспечить:

- оптимальные режимы работы горелок;
- использовать простые и дешевые исполнительные устройства, что обуславливает повышение надежности системы управления;
- с учетом реализации оптимальных колебательных режимов термообработки ЖБИ и управления временем термообработки себестоимость ЖБИ снижается примерно на 5...6%.

### Список литературы

1. Веревкин А.П., Нагуманов Х.Г., Нагуманов А.Х. Управление процессом огневого нагрева по показателям качества и технико-экономической эффективности (на примере термовлажностной обработки железобетонных изделий) // Нефтегазовое дело: электрон. науч. журн. 2013. №4. С. 374-385.
2. Баженов Ю.М., Комар А.Г. Технология бетонных и железобетонных изделий: Уч. для вузов. М.: Стройиздат, 1984. -672 с.
3. Нагуманов Х.Г., Нагуманов А.Х., Веревкин А.П. Разработка системы управления теплогенераторами "КРОН" и "АТОН" на базе малоканальных микроконтроллеров // Проблемы нефтегазового комплекса России. Материалы международной конференции, посвященной 50-летию УГНТУ. Уфа, 1998. с. 75-79.
4. Веревкин А.П., Кирюшин О.В. Управление системой поддержания пластового давления с использованием моделей конечно-автоматного вида // Территория нефтегаз. 2008. №10. С.14-19.
5. Нагуманов Х.Г., Нагуманов О.В. Контроллеры для управления процессом термообработки железобетонных изделий // Сб. тр. Всероссийской научно-технической конф. Т. 2. Уфа. УГНТУ, 2007. с. 102-103.
6. Деркач А. и др. Опыт автоматизации термовлажностной обработки бетона // Современные технологии автоматизации. 2009. №4. с.48.

**Веревкин Александр Павлович** — д-р техн. наук, проф., заведующий кафедрой автоматизации ТП и производств, **Нагуманов Халит Галимович** — канд. техн. наук, доцент Уфимского государственного нефтяного технического университета, **Нагуманов Артур Халитович** — канд. техн. наук, инженер ООО «Инженерный центр «Энергосберегающие технологии».

Контактный телефон (347) 242-03-70.

E-mail: apvrevkin@mail.ru